

HYDROLOGIE

Etude de la génération de crues rapides par la confrontation de deux logiciels


Le Gardon à Générargues

Lilian BERTERRECHE

Renaud CHAMPREDONDE

Année 2007 – 2008 **Encadrant : Denis Dartus**

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION

Nous fixons notre étude sur une problématique qu'un bureau d'étude en eau et environnement aurait à résoudre : modéliser la génération des crues sur un petit bassin aux temps de réponse extrêmement courts. Pour ce faire nous utiliserons deux logiciels qui seront mis en parallèle lors de la manipulation ainsi que lors de l'analyse des résultats. L'objectif est donc de retrouver les phénomènes réels à l'aide de ces logiciels en adoptant une méthodologie adaptée à ce type d'étude. La confrontation de ces deux outils doit aboutir à une préférence d'utilisation de l'un ou l'autre avec sa méthodologie propre, le tout choisi en fonction des résultats finaux obtenus.

2. PRESENTATION DES LOGICIELS

Nous présentons ici les principales fonctions du logiciel Routing System II uniquement puisque pour le logiciel HEC-HMS, le manuel utilisateur développe de façon très détaillé ces aspets.

Le logiciel *Routing System II* a été développé par le Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH), de l´École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Ce logiciel a été conçu pour simuler la formation et la propagation des écoulements dans des systèmes à surface libre. Il permet la modélisation hydrologique et hydraulique selon un schéma de type conceptuel semi-distribué et par une approche orientée objets. Il permet la prise en compte non seulement de processus hydrologiques particuliers tels la fonte de neige et glaciaire, les écoulements de surface et de sub-surface sur un bassin versant, mais aussi la modélisation d´ouvrages régulés tels que retenues, vannes, évacuateurs réglables, prises d´eau, turbines ou pompes, galeries et autres ouvrages hydrauliques.
Son principe général associe chaque objet à une fonction hydraulique, représentée par une icône qui peut être assemblée manuellement avec ses voisins selon une topologie définie par l'utilisateur.

2.1. Concepts théoriques

Le logiciel Routing System II est conçu sous forme d'objets associés à des fonctions. Chacune d'entres elles représentent un processus hydrologique. Routing System II possèdent d'autres fonctions comme le routage par les équations de Barré de Saint-Venant, ou des fonctions liées aux ouvrages hydrauliques.

2.2. Production – Modèle d'infiltration GR3

Une intensité brute (ou précipitation équivalente P_{eq} provenant du modèle de neige) est introduite dans le modèle GR3, qui prend aussi en compte l'évapotranspiration potentielle (ETP), non utilisée dans le cadre de notre étude. Les entrées du modèle

sont la précipitation équivalente (ou intensité brute) et l'ETP. L´intensité nette, le débit de base et l'évapotranspiration réelle sont fournis en sortie.

2.3. Transfert – Modèle d'écoulement

Le transfert de l'intensité nette sur une surface imperméable est réalisé à l'aide d'un réservoir de transfert non-linéaire. Comme dans le cas du modèle d´infiltration GR3, il s'agit à nouveau de résoudre une équation différentielle ordinaire avec la méthode d'Euler de premier ordre. Alimenté en amont par un hyétogramme de pluie nette, le modèle SWMM fournit un hydrogramme de crue à l'aval du bassin versant.

2.4. Répartition des variables météorologiques

La méthode utilisée est celle de Shépard pour la répartition et la spatialisation des données météorologiques.

3. CALAGE DES MODELES HYDROLOGIQUES

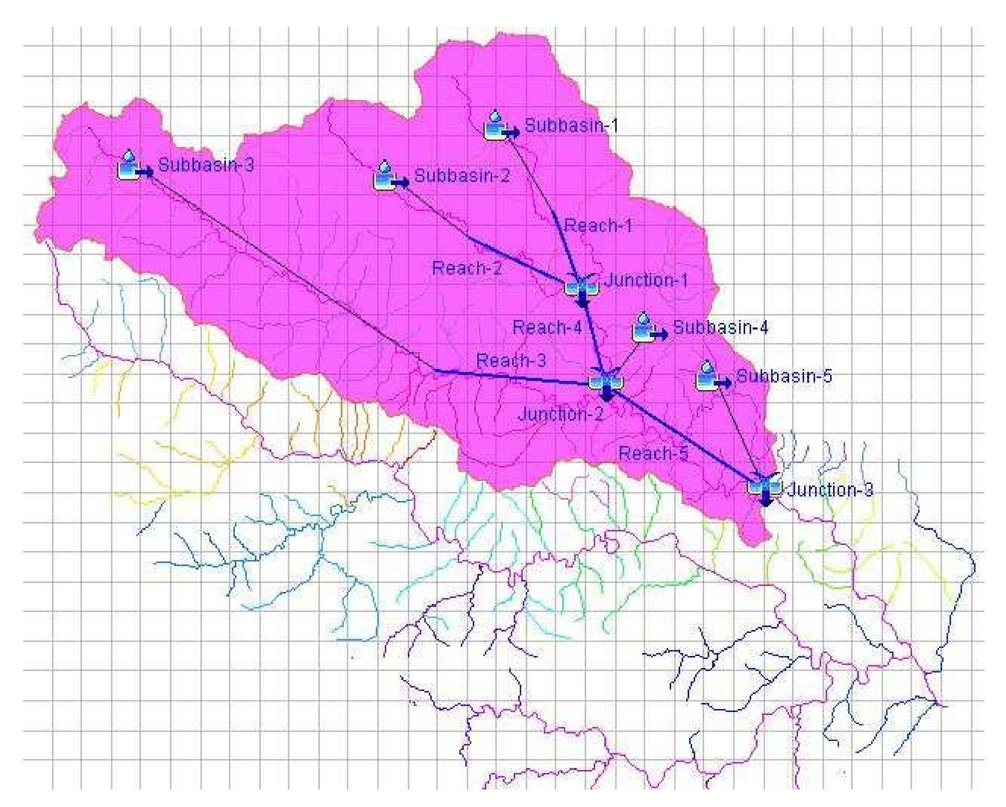
La première phase de toute étude hydrologique à mener à bien constitue la phase de calage. Celle-ci a pour but de définir le modèle à construire et de le faire coïncider au maximum avec un évènement réel pris comme référence. Les paramètres du modèle seront ainsi dits adaptés au modèle et au phénomène réel. Cette phase doit être effectuée avec la plus grande attention car elle constitue la base du travail.

Nous avons choisi de fragmenter le bassin versant à l'aide de Google Earth. Après avoir délimité nos cinq sous bassins (cf cartes ci-dessous), nous avons utilisé le logiciel GEPath (le Path pour Google Earth) qui permet de calculer l'aire de chacun des cinq polygones définis dans Google Earth.

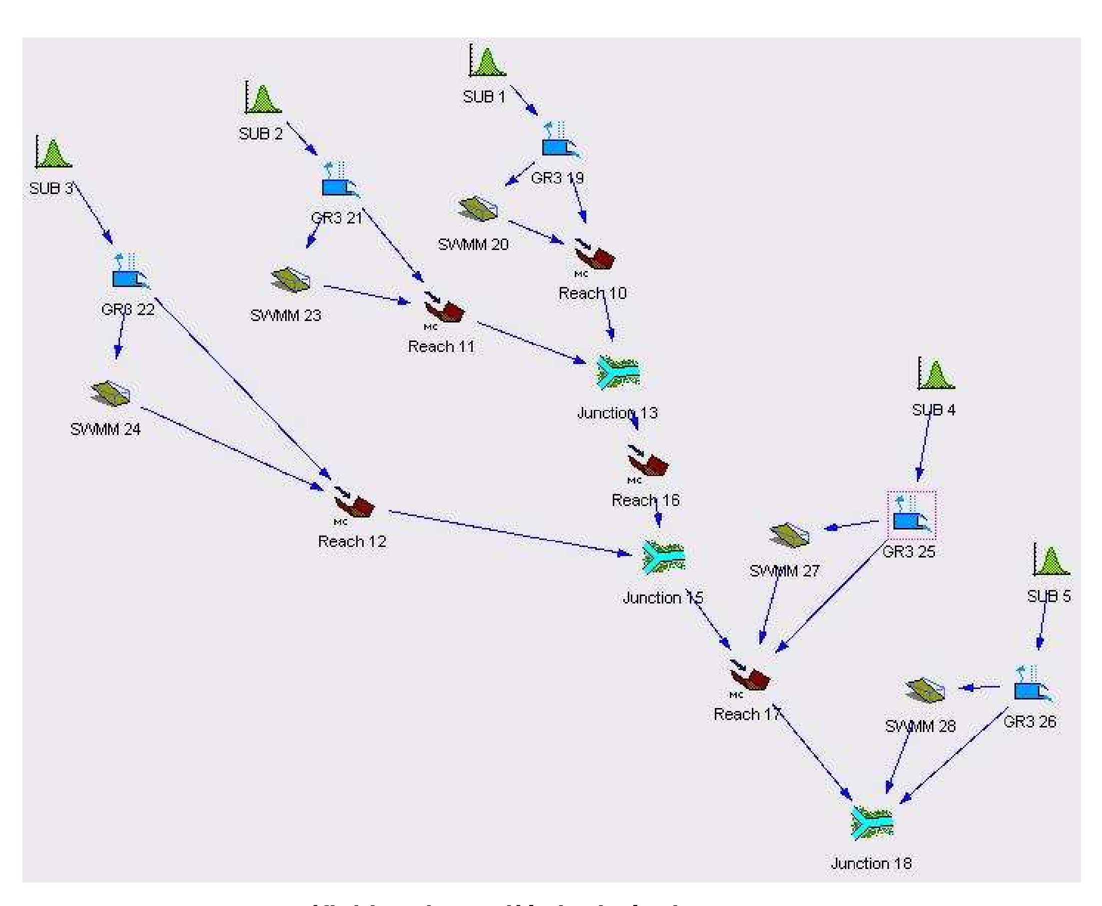
3.1. Construction des modèles hydrologiques

Nous avons choisi de nous limiter au bassin versant de Mialet. Ce bassin versant de 219 km2 a été modélisé par différent processus hydrologique.

Les deux figures ci-dessous représentent le modèle d'exutoire Mialet établi sous HEC-HMS et sous Routing System II.



1 : Définition du modèle hydrologique sous HEC-HMS



2 : Définition du modèle hydrologique sous RSII

Dans les deux cas, nos géométries sont composées des outils hydrologiques suivant :

HEC-HMS :

- « subbassins » : permet de définir une zone élémentaire
- « reach » : représente les cours d'eau. Permet de router un débit.
- « junction » : additionne deux débits.

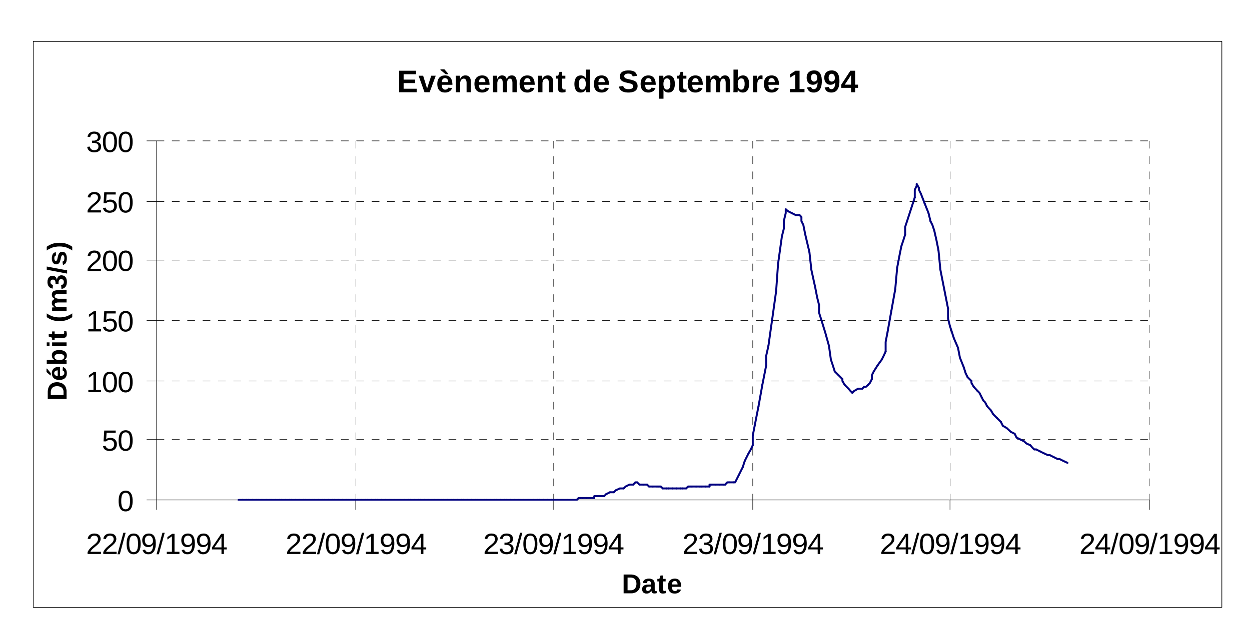
Routing System II :

- « Station » : permet de spatialiser les données météorologiques par la méthode de Shépard.
- « infiltration GR3 » : sépare la partie infiltrée de la partie apte à ruisseler ou à être router.
- « reach » : routage des débits selon la méthode de Muskingum-Cunge.
- « junction » : additionne deux débits et trace l'hydrogramme.

Autant pour RSII que pour HEC-HMS, nous n'avons trouvé aucune influence des conditions initiales sur les débits simulés. Les périodes simulées d'une année expliquent en parties cette remarque, d'autant plus que nos évènements se produisent tous vers la fin de l'année simulée dans chacun des cas. Nos données ne nous permettaient pas d'effectuer des simulations sur une année hydrologique complète, ce qui eu été plus judicieux pour éviter d'omettre un processus hydrologique majeur.

3.2. Choix de l'évènement de référence

Nous avons choisi de caler notre modèle sur l'évènement de Septembre 1994. Celui-ci présente un double pic de crue comme le montre la figure ci-dessous.



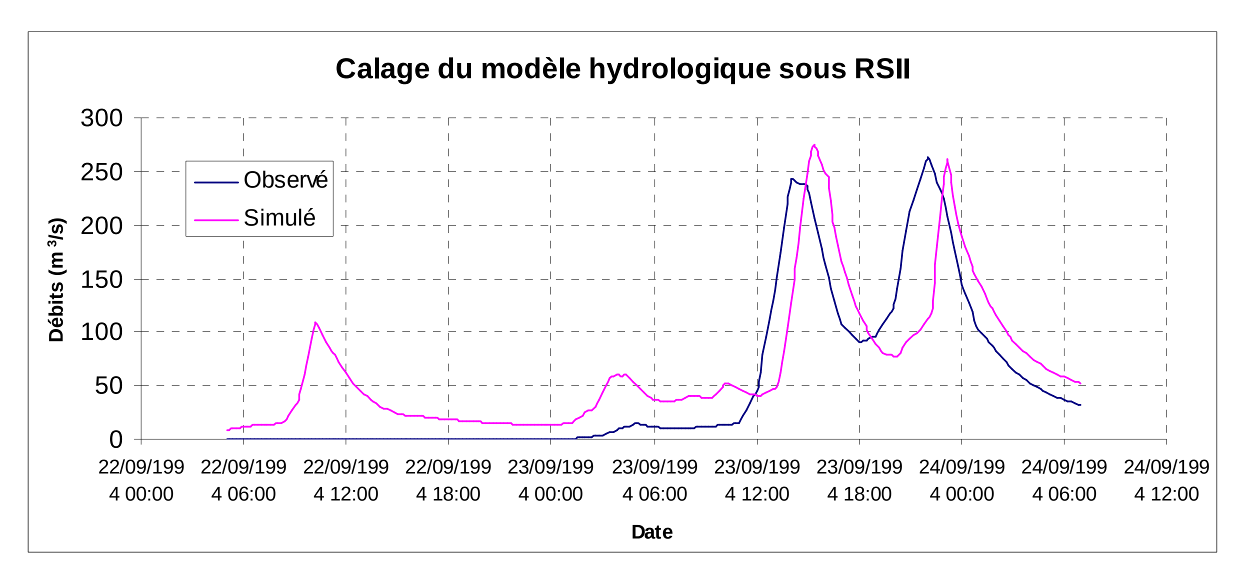
3 : Evènement de référence pour le calage - Crue de Septembre 1994

Cette caractéristique nous est apparue intéressante et plus complexe qu'un simple pic de crue. Le calage sur un tel évènement permettra de mieux modéliser la réalité lors de la validation sans omettre des processus hydrologiques peut-être masqués par un seul pic de crue.

La phase de calage d'un logiciel a pour but d'adapter le modèle établi à la réalité. Nous nous servons donc d'un évènement avéré du mois de Septembre 1994 pour faire coïncider au mieux les résultats numériques simulés de ceux réellement observés.

3.3. Calage sous Routing System II

Contrairement à HEC-HMS, Routing System II ne possède pas de fonction d'optimisation interne. En réalité celle-ci est réalisée à l'aide d'un programme externe (Matlab). N'ayant pas à disposition ce programme, nous n'avons pu effectuer qu'un calage à la main. C'est à la suite de ce dernier que nous obtenons pour l'évènement de Septembre 1994, les deux courbes suivantes :



4 : Calage sous RSII de l'évènement de Septembre 1994

Pour exprimer la corrélation entre les valeurs observées et les valeurs simulées, nous exprimons le critère de Nash dont nous présentons l'écriture :

$$Nash = 1 - \frac{\sum (Q_{simulé} - Q_{observé})^2}{\sum (Q_{simulé} - \overline{Q_{simulé}})^2}$$

Ce dernier est compris entre $-\infty$ et 1. Une valeur unité correspond a une corrélation parfaite entre les valeurs observées celles simulées.

Le second critère utilisé a pour but de représenter la différence de quantité d'eau qui s'est écoulé. C'est ainsi que ce critère est défini de la façon suivante :

$$Bilan\ de\ Volume = \frac{\sum Q_{simulé} \times dt}{\sum Q_{observé} \times dt}$$

Le calcul des ces paramètres pour la phase de calage sous le logiciel RSII est indiqué ci-dessous :

CRIERE DE NASH	**0.39751913**
BILAN VOLUME	**1.31**

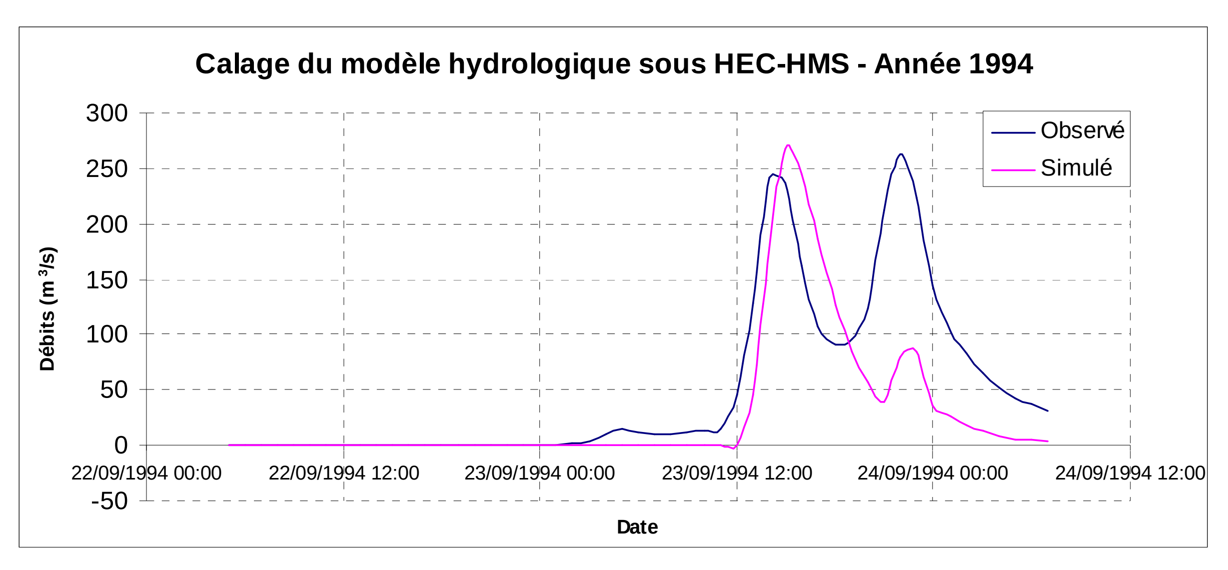
Le critère de Nash égal à 0.40 ne correspond à une valeur satisfaisante. Cependant nous observons un décalage de la réponse simulée par rapport à celle observée. Si l'on effectue une translation vers la gauche de notre hydrogramme obtenu, nous observons alors une bonne corrélation. Les processus hydrologiques y sont donc

relativement correctement représenté sans pour autant être exact puisque ne représentant pas réellement cette caractéristique des bassins étudiés ; à savoir à cinétique rapide.

3.4. Calage sous HEC-HMS

Pour pouvoir comparer les résultats des deux simulations, nous avons calé les modèles sous HEC-HMS avec le même évènement que celui utilisé pour le calage sous RSII. C'est ainsi que l'hydrogramme de crue du 23 et 24 Septembre 1994 a été inséré dans le logiciel à Mialet.

Les paramètres constitutifs du modèle hydrologique du bassin versant de Mialet sont obtenus par un processus d'optimisation interne. Celui-ci se base sur l'hydrogramme de crue inséré pour minimiser une fonction objectif représentant notre débit à l'exutoire. Nous obtenons alors le graphique suivant :



5 : Calage sous HEC-HMS de l'évènement de Septembre 1994

Nous observons que le premier pic de crue est relativement correctement représenté, alors que le second ne retranscrit pas vraiment les valeurs observées pour cet évènement. Les critères suivants permettent d'exprimer la corrélation entre valeurs observées et valeurs simulées :

CRIERE DE NASH	**0.259022873**
BILAN VOLUME	**0.58**

La valeur du critère de Nash s'explique en partie par l'écart sur le second pic de crue. En effet la définition même de ce critère permet de jauger l'importance de la différence entre valeurs observées et simulées notamment pour des évènements peu communs comme par exemple les pics de crue.
Le bilan de volume égal à 0.58 indique une perte de volume au niveau de la simulation de plus de 40%.
Bien que non satisfaisante pour une phase de calage, nous accepterons ce calage pour pouvoir envisager l'étape ultérieure de validation.

3.5. Discussion sur les résultats du calage

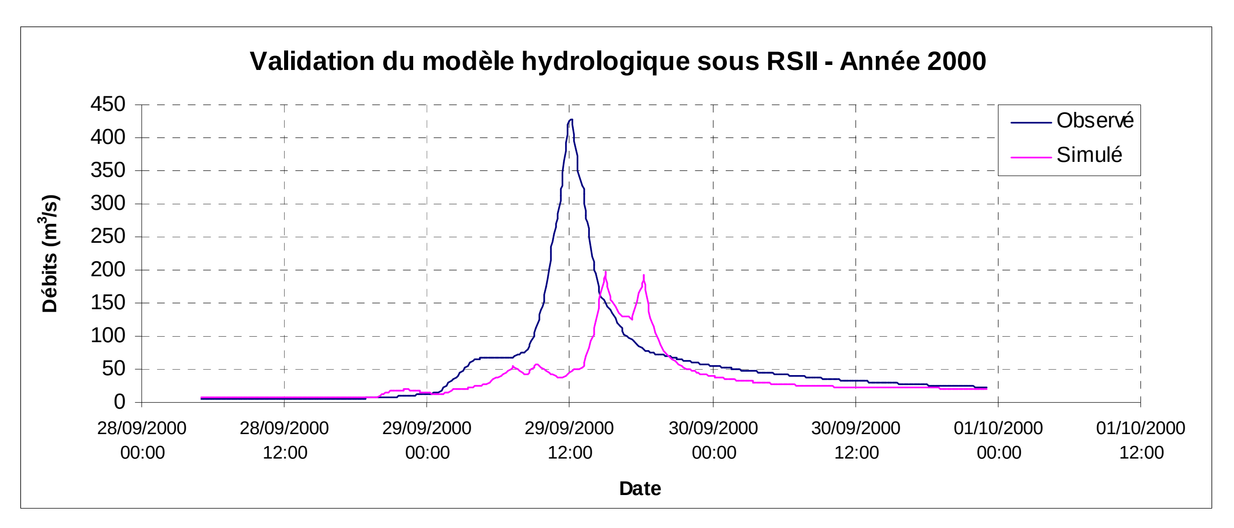
La caractéristique principale des réponses des deux modèles confrontés rejoint le cadre de cette étude, à savoir la rapidité et la soudaineté de la réponse hydrologique à un évènement dit éclair. En effet les deux résultats présentent tout deux un retard conséquent quant à la prévision des pics de crue. Malgré nos efforts de paramétrages notamment sur les coefficients de ruissellement dans HEC-HMS, et sur les coefficients de vidange des réservoirs de ruissellement dans RSII, ce retard n'a pas être combler. L'optimisation élaborée sous HEC-HMS n'a pas, également, réussi cette épreuve. Un élément de réponse à cette question restée inachevée, peut résider dans la mauvaise description du bassin versant. Par exemple le temps de rétention de l'eau (Lag time) sous HEC-HMS et la longueur du cours de la portion du cours d'eau jouent certainement pour beaucoup dans ce retard observé. Dans l'un comme dans l'autre des deux logiciels utilisés, l'ensemble de l'eau qui tombe sur un sous bassin versant est réduite à une seule quantité. De ce fait les sous bassins versant étendus en longueur ne retranscrivent pas réellement l'apport d'eau au temps simulé. C'est le cas dans nos modèles du sous bassin versant 3 qui de surcroit est le plus étendu en superficie. Cependant le volume d'eau acheminée à l'exutoire par ce type de sous bassin reste correcte puisque simplement un retard est généré. Pour éventuellement palier à cette mauvaise représentation du sous bassin versant, il aurait peut être été plus judicieux d'effectuer une fragmentation de ce sous bassin. Nous aurions alors obtenus, par exemple, deux sous bassins, l'un en amont avec pour exutoire Gabriac, l'autre en aval ayant pour le même exutoire que celui défini pour le sous bassin versant 3.

4. VALIDATION PAR L'EVENEMENT DE SEPTEMBRE 2000

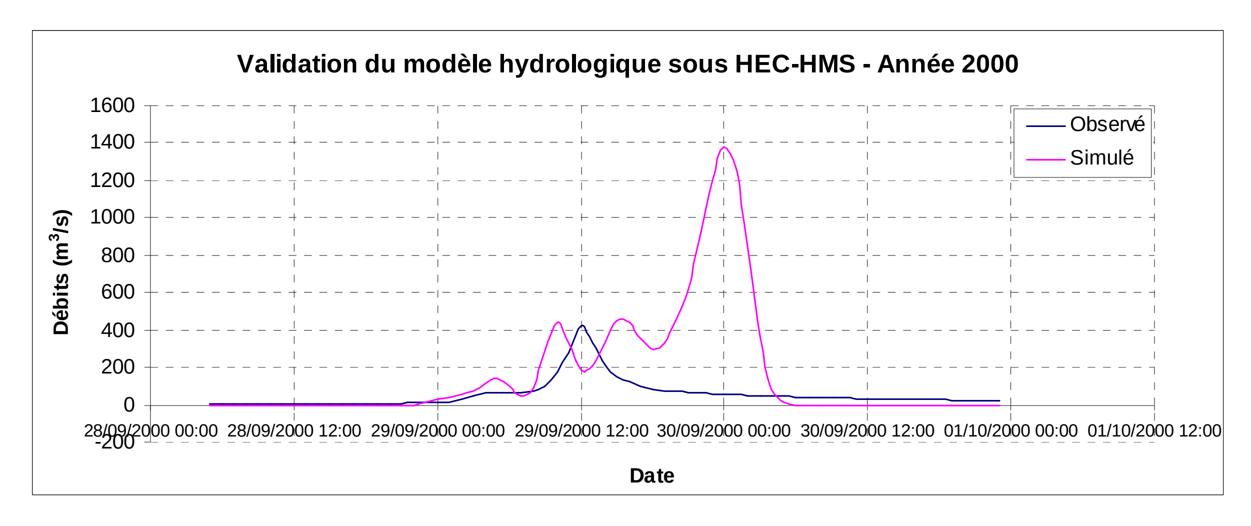
4.1. Résultats de la validation

Une fois les modèles hydrologiques calés, nous pouvons maintenant passer à la validation. Cette dernière a pour objectif de soumettre les modèles ainsi établis à un phénomène réel différent de celui utilisé pour le calage, pour en observer la réponse numérique. Nous avons choisi d'effectuer cette phase sur l'évènement pluviométrique de Septembre 2000.

La création et l'insertion des bases de données pluviométriques étant réalisées, nous avons effectué les simulations en prenant comme valeurs des paramètres, les valeurs obtenues à la phase précédente. Les résultats des simulations sont présentés ci-dessous pour RSII ainsi que pour HEC-HMS :

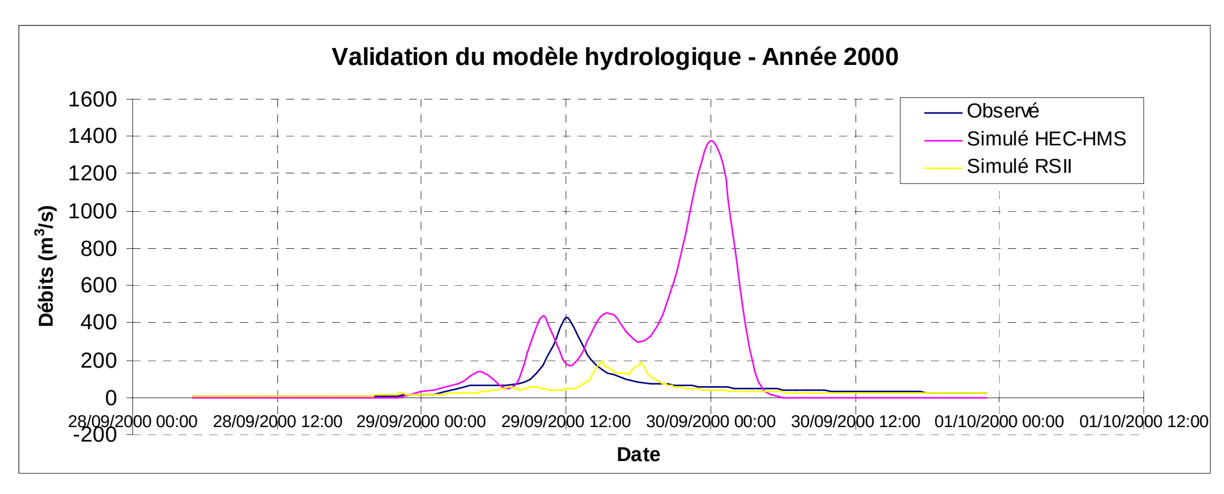


6 : Validation sous RSII sur l'évènement se Septembre 2000




7 : Validation sous HEC-HMS sur l'évènement se Septembre 2000

Ces deux simulations conduisent à la représentation complète suivante :



8 : Récapitulatif de la validation pour l'évènement se Septembre 2000

4.2. Discussion des résultats de la validation

Tout comme la phase de calage, nous pouvons établir le critère de Nash et le critère portant sur les quantités d'eau misent en jeu. C'est ainsi que le tableau suivant présente les résultats des critères de Nash et du volume pour les deux modèles numériques :

	RSII	HEC-HMS
CRITERE DE NASH	-2.640500361	-0.06406456
BILAN VOLUME	0.61	3.1

Ce tableau est à relier à la représentation graphique précédente. En effet, bien que le critère de Nash et celui de volume soit plus faible pour RSII que pour HEC-HMS, l'hydrogramme de crue simulé avec RSII se rapproche plus de la réalité. A une anti corrélation importante le 29 Septembre à 12h, s'oppose un hydrogramme plus réaliste obtenu avec RSII. Les débits maximums fournis par les simulations sur cet évènement, restent plus fidèle à la réalité avec RSII qu'avec HEC-HMS. En effet le maximum calculé par RSII avoisine les 200 m^3/s. Avec un retard de plus d'heure par rapport au pic de crue, il représente cependant plus fidèlement la réalité que le pic fourni en sortie par HEC-HMS avec un maximum de près de 1400 m^3/s avec un retard de 6 heures.

Le bilan de volume confirme la remarque précédente avec une quantité très fortement supérieure à celle observée pour la simulation sous HEC-HMS. Le bilan de volume indique une sous estimation, par le logiciel RSII, des quantités misent en jeu.

5. CONCLUSIONS

En ce qui concerne la phase de calage, RSII présente un retard de 1h30 par rapport aux deux pics de crue. Le calage sous HEC-HMS indique une bonne définition du premier pic de crue, mais le second simulé est très nettement en dessous de la valeur observé. Les critères de Nash exprimés, respectivement égaux à 0.40 et 0.26 pour RSII et HEC-HMS, indiquent une meilleure corrélation pour RSII.

Cependant ces deux valeurs ne peuvent pas qualifier les simulations numériques de correctes. Des nombres si peu élevé ne sont pas représentatifs de la bonne cohérence entre valeurs observées et valeurs simulées. Cette corrélation est vraisemblablement due à une représentation peut-être trop simpliste du sous bassin versant 3. Ne disposant pas de plus d'informations sur les évènements modélisés, ces opérations ont cependant été prises comme référence.

Lors de la phase de validation, nous avons montré que la simulation numérique établie sous le logiciel RSII retranscrit une allure générale plus fidèle que celle effectué sous HEC-HMS si l'on fait abstraction du retard sur l'hydrogramme de 1h à 2h par rapport à la réalité. Le retard, beaucoup plus important, et les extrema, en dehors des proportions des valeurs réelles, permettent de mettre en avant le logiciel RSII. L'ensemble des opérations effectuées restent plus fidèle à la réalité en utilisant ce logiciel.

Une étude plus approfondie sur chaque sous bassin versant, et en particulier le numéro 3, permettrait de mettre en évidence une cinétique de crue plus rapide que celle décrite dans le cadre de cette étude. Les outils pour décrire alors ces simulations, coefficient de Nash et bilan de volume, tendraient alors tout deux vers l'unité, montrant ainsi les capacités de ce logiciel à décrire et retranscrire les phénomènes hydrologiques naturelles extrêmes que sont les crues éclaires.

6. BIBLIOGRAPHIE

Champredonde, R., Garcià, J., Boillat, J.-L. et Schleiss, A. (2007). Impacts du changement climatique sur le cycle de l'eau : application au bassin versant du Rhône, Communication interne du Laboratoire de Constructions Hydrauliques, ed. A. Schleiss, EPFL, Lausanne.

Dartus, D., Maubourguet, M.M., Chorda, J. (2007). Mode d'emploi de HEC-HMS – Hydrologic Modeling System. Polycopié de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique, d'Electronique, d'Informatique, d'Hydraulique et des Télécommunications de Toulouse.

Dartus, D. (2007). Mode d'emploi de HEC-HMS – Description des différents processus hydrologiques impliqués. Polycopié de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique, d'Electronique, d'Informatique, d'Hydraulique et des Télécommunications de Toulouse.

HYDRO, (2008). Banque HYDRO – Réseau national des données sur l'eau. Services de l'Etat, directions régionales de l'Environnement, France. http://www.hydro.eaufrance.fr/

Liste des Stations limnimétriques (2008). Services de l'Etat, directions régionales de l'Environnement, France. http://www.rdbrmc.com/hydroreel2/

US Army Corps of Engineers (2006), HEC-Ras Software, www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras

US Army Corps of Engineers (2006), HEC-Ras Software – User Manual.

7. TABLE DES ILLUSTRATIONS